

## ДЕЛИТЕЛЬ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Г.А. МЕСЯЦ

Емкостный делитель, встроенный в кабель, используется для регистрации высоковольтных импульсов с длительностью фронта  $10^{-9}$  сек [1], [2], [3]. Однако в известной нам литературе [4], [5], [6] и др. нет анализа работы таких делителей. Схематически конструкция делителя приведена на рис. 1.

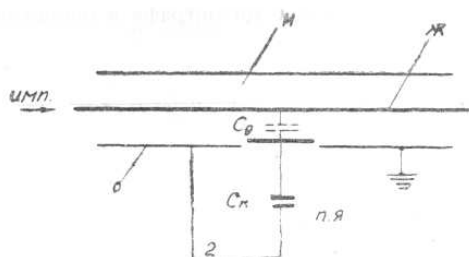


Рис. 1. Устройство разрядника; и — изоляция кабеля, жс — жила, о — оплетка.

На полиэтиленовую изоляцию кабеля накладывается металлическая пластина, которая образует емкость  $C_0$  с жилой кабеля. Второй емкостью является собственная емкость пластин осциллографа  $C_n$ . Коэффициент деления такого делителя определяется из выражения

$$K = \frac{C_n + C_0}{C_0} \quad (1)$$

Рассчитаем, при каких условиях такой делитель будет воспроизводить минимальный фронт при допустимых искажениях.

Схема замещения делителя представлена на рис. 2. Здесь емкость  $C = \frac{C_n}{K}$ ,  $R$  — волновое сопротивление кабеля, индуктивность  $L = L_n + L_0$  где  $L_n$  — индуктивность подводящих проводников 1 и 2 (рис. 1),  $L_0$  — собственная индуктивность вводов трубки. Пусть  $L = k_L L_0$ , где  $k_L \geq 1$  — коэффициент индуктивности. Предполагаем, что напряжение на фронте импульса изменяется по закону

$$U_n = 1 - e^{-at}, \quad (2)$$

Так как для получения высоковольтных импульсов с фронтом порядка  $10^{-9}$  сек чаще всего используют искровой разрядник, а характеристика коммутации разрядника близка к экспоненте [4]. Длительность фронта импульса  $t_\phi$ , определяемая между значениями 0 и 0,9, составит

$$t_\phi = \frac{2,3}{a}. \quad (3)$$

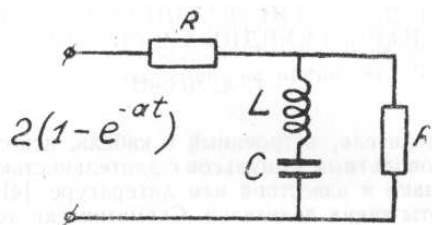


Рис. 2. Схема замещения.

Напряжение на пластинах осциллографа в операторной форме запишется так:

$$U_{осц}(p) = \frac{1}{K_g} \cdot \frac{2a}{(p+a)(2LCp^2 + RCp + 2)} \quad (4)$$

Введением нового оператора  $p' = \frac{p}{a}$  сократим число независимых параметров уравнения (4) с 4 до 2. При этом получим

$$U_{ocq}(p') = \frac{1}{K} \cdot \frac{2}{(p'+1)(2Bbp'^2 + Bp' + 2)}, \quad (5)$$

где  $B = aRC$ ,  $b = a \frac{L}{R}$ .

Для случая колебательного заряда емкости  $C$  получим

$$U_{ocq}(x) = \frac{1}{K_g} \cdot \left[ 1 - \frac{1}{Bb - \frac{B}{2} + 1} \cdot e^{-x} - \frac{Bb - \frac{B}{2}}{\left(Bb - \frac{B}{2} + 1\right) \sin \varphi} \cdot e^{-\frac{x}{4b}} \cdot \sin(\omega x + \varphi) \right], \quad (6)$$

где  $\omega = \sqrt{\frac{1}{Bb} - \frac{1}{16b^2}}$ ;  $\sin \varphi = \frac{\omega \left(bB - \frac{B}{2}\right)}{\sqrt{Bb - \frac{B}{2} + 1}}$ ;  $x = at$ .

Ошибка  $F$ , вносимая делителем:

$$F = \frac{1}{K} (1 - e^{-x}) - U_{ocq} = \frac{1}{K_g} \left[ -\frac{Bb - \frac{B}{2}}{1 + Bb - \frac{B}{2}} e^{-x} + \frac{Bb - \frac{B}{2}}{1 + Bb - \frac{B}{2}} \cdot e^{-\frac{x}{4b}} \sin(\omega x + \varphi) \right]. \quad (7)$$

Величина  $F$  меняется во времени, причем при  $t=0$ ,  $F=0$ . Из уравнения следует, что искажения, вносимые делителем, будут малыми, если будет малой величина

$$m = Bb - \frac{B}{2} \ll 1 \quad (8)$$

и амплитуда синусоиды

$$A = \frac{Bb - \frac{B}{2}}{\left(Bb - \frac{B}{2} + 1\right) \sin \varphi} \ll 1. \quad (9)$$

При соблюдении (8) условие (9) запишется:

$$\frac{\sqrt{\alpha} + \sqrt{\alpha + 16m}}{\sqrt{16 - \alpha}} \ll 1, \quad (10)$$

где  $\alpha = \frac{B}{b}$ .

Таким образом, выбором соответствующих величин  $m$  и  $\alpha$  можно получить малые искажения фронта импульса.

Определим величину ошибки  $F$  при заданной погрешности  $\Delta x$  в длине фронта импульса

$$F = 0,1 - e^{-(x_{\Phi} \pm \Delta x)}. \quad (11)$$

При погрешности  $\pm 10\%$  величина  $\Delta x = 0,23$  и ошибка  $F = \pm 0,02 - 0,026$ . Для того, чтобы искажения были малыми, необходимо уменьшать амплитуду наложенных колебаний. Влияние колебаний будет несущественным, если будет мала амплитуда  $A$ . Пусть

$$A = \frac{\sqrt{\alpha} + \sqrt{\alpha + 16m}}{\sqrt{m+1} \cdot \sqrt{16-\alpha}} = 0,1. \quad (12)$$

Фактически амплитуда будет меньше в  $e^{\frac{x}{4b}}$  раз.

Так как  $m \ll 1$ , а  $\alpha \ll 16$ , то уравнение (12) упростится и примет вид

$$\sqrt{\alpha} + \sqrt{\alpha + 16m} = 0,4. \quad (12')$$

Из (12') определим  $m = f(\alpha)$

$$m = 0,01 - 0,05 \sqrt{\alpha}. \quad (13)$$

При значениях  $m$ , рассчитанных по (13), первый член выражения (7) для ошибки  $F$  будет много меньше второго, поэтому

$$F \approx \frac{1}{4} (\sqrt{\alpha} + \sqrt{\alpha + 16m}) e^{-\frac{x}{4b}} \sin(\omega t + \varphi). \quad (14)$$

При значениях  $\alpha \geq 0,04$  максимальное значение  $F$  при  $x = x_{\phi} \pm \Delta x$  лежит в пределах, указанных для  $\Delta x = \pm 10\%$ .

Таким образом, условие (13) при высказанных выше соображениях является необходимым и достаточным, чтобы погрешность в регистрируемом фронте импульсов не превышала 10%, а амплитуда колебаний на фронте была меньше 10%.

Из уравнения (8) определим длительность фронта  $t_{\phi}$  в зависимости от  $m$  и  $\alpha$ , учитывая (3)

$$t_{\phi} = \frac{9,2 R C_n}{K(1 + \sqrt{1 + 16m\alpha})}. \quad (15)$$

Вместо  $m$  подставим его значения из (13)

$$t_{\phi} = \frac{9,2 C_n}{K(1 + \sqrt{1 + 0,16\alpha - 0,8\alpha\sqrt{\alpha}})}. \quad (15')$$

Выразим  $\alpha$  через коэффициент деления  $K$ , волновое сопротивление кабеля  $R$  и параметры электроно-лучевой трубки.

Так как  $B = a \frac{RC_n}{K}$ ,  $b = a \frac{\hat{e}_L L_6}{R}$  и  $L_6 = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 C_n}$ , где  $f_0$  – резонансная частота отклоняющей системы трубки, то

$$\alpha = \frac{4\pi^2 R^2 C_n^2 f_0^2}{K^2 K_L}. \quad (16)$$

Подставляя  $\alpha$  в (15'), получим зависимость минимального фронта импульса, который может быть зарегистрирован данным делителем без существенных искажений от всех параметров регистрирующей системы.

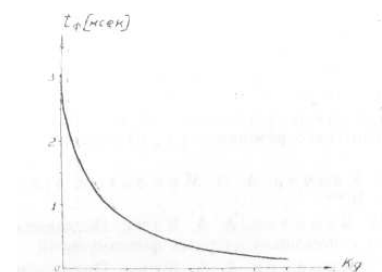


Рис. 3. Зависимость длительности фронта импульса от коэффициента деления.

В качестве примера рассчитаем  $t_{\phi}$  для трубки 13 ЛО5А и кабеля с волновым сопротивлением 75 ом.

Для этой трубки  $f_0 = 600 - 10^6$  гц,  $C_n = 5 \cdot 10^{-12}$  ф. При тщательной компоновке устройства можно получить  $K_L \approx 1$ .

Подставляя все эти величины в (16), получим

$$u \approx \frac{2}{K_g},$$

Таким образом, для данной трубки и кабеля  $t_\phi$  зависит только от коэффициента деления  $K_g$ . Зависимость  $t_\phi$  от  $K_g$  приведена на рис. 3.

Из графика рис. 3 следует, что теоретически при больших  $K_g$  можно регистрировать импульсы с фронтом менее  $10^{-9}$  сек. Практически минимальная величина  $t_\phi$  будет ограничиваться временем пролета электрона в поле отклоняющих пластин трубки [4].

Таким образом, в результате расчетов доказано, что емкостный делитель, встроенный в кабель, может воспроизводить без существенных искажений импульсы с длительностью фронта  $10^{-9}$  сек.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. R.C. Fletcher, "Rev. Sci. Instr." 20 №12, p. 124, 1949.
2. Н.А. Протопопов, В. М. Кульгавчук. ПТЭ, №1, 1960.
3. Г.А. Месяц. "Труды III межвузовской конференции по электронным ускорителям", г. Томск, 1961.
4. И.С. Стекольников. "Импульсная осциллография и ее применение", Изд-во АН СССР, 1949.
5. Б. Геллер, А. Веверка. "Волновые процессы в электрических машинах", Госэнергоиздат, 1960.
6. И. Льюис, Ф. Уэлс. Миллимикросекундная импульсная техника, Из-во иностранной литературы, 1956.

825

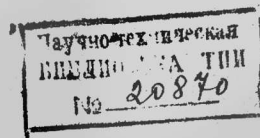
# ИЗВЕСТИЯ

ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

имени С. М. Кирова

Том 87

Электронные циркулярные ускорители



ИЗДАНИЕ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

ТОМСК

1957 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

(Известия ТПИ. – Т. 87. – 1957)

Родимов Б.Н. Закономерности магнитного поля бетатрона .....	3.
Родимов Б.Н. О механизме захвата электронов в ускорение в бетатроне I .....	11.
Родимов Б.Н. О механизме захвата электронов в ускорение в бетатроне II .....	30.
Черданцев П.А. Об устойчивости равновесного электронного пучка в бетатроне .....	41.
Черданцев П.А. Релятивистская потенциальная функция магнитного поля и ее применение для вычисления плотности равновесного заряда в бетатроне .....	48
Черданцев П.А. Учет собственного магнитного поля равновесного пучка в бетатроне .....	52.
Гельперин Б.Б. О требованиях к электромагнитам бетатронных установок и принципах их конструирования .....	57.
Филиппов М.Ф. К расчету радиуса равновесной орбиты бетатрона .....	67.
Филиппов М.Ф. Приближенное определение коэффициента рассеяния магнитного потока полюсов электромагнита бетатрона .....	77.
Гельперин Б.Б. О расчете магнитного поля рассеяния в бетатронах .....	83.
Филиппов М.Ф. К расчету профиля полюсных наконечников электромагнита бетатрона .....	87.
Гришин К.С. К методике проектирования полюсов простейших бетатронов .....	95.
Димов Г.И. и Носков Д.А. Бетатрон без железного ярма и полюсов .....	101.
Шипунов И.В. Вопросы теплового расчета электромагнитов бетатронов .....	106.
Лещенко И.Г. Методы измерения показателя спада магнитного поля в ускорительных установках .....	120.
Лещенко И.Г. Влияние радиальной фазовой неоднородности на конфигурацию магнитного поля в ускорителях .....	130.
Гришин К.С. К вопросу выбора рационального места расположения инжектора и определения величины напряжения инжекции для бетатрона .....	137.
Носков Д.А. Потенциальная функция фокусирующих сил магнитного поля бетатрона и ее практическое применение при настройке ускорителей .....	151.
Высоцкая В.М. Индуктивный параметрический генератор как возбудитель резонансного контура бетатрона .....	157.
Высоцкая В.М. О машинной постоянной параметрических генераторов индуктивного типа .....	161.
Разин В.М. Расчет элементов схемы инжекции электронов в бетатроне .....	164.
Разин В.М. Расчет элементов схемы смещения электронов в бетатроне .....	178.
Разин В.М. Учет радиационного торможения в расчете смещения на мишень ускоренных в бетатроне электронов .....	187.
Разин В.М. Упрощенные схемы инжекции и смещения электронов в бетатроне .....	193.
Разин В.М. Стабилизатор тока эмиссии .....	201.
Разин В.М. Стабилизация излучения бетатрона .....	206.
Разин В.М. Электронный стабилизатор импульсного напряжения на инжекторе бетатрона .....	216.
Берзин А.К., Мещеряков Р.П., Немков Р.Г. Новая схема контроля максимальной энергии х-лучей .....	219.
Разин В.М. Приставка ждущей развертки для электронных осциллографов типа ОК17М и ЭО-7 .....	221.
Носков Д.А. Упрощенная схема инжекции для импульсного бетатрона .....	224.
Чучалин И.П., Филиппов М.Ф. Расчет компенсирующего трансформатора .....	231.
Чучалин И.П., Разин В.М. Расчет гашения обратного напряжения в импульсной схеме .....	236.
Чучалин И.П., Разин В.М. О параллельной работе игнитронов в импульсном режиме .....	247.
Носков Д.А. К вопросу о зависимости интенсивности излучения бетатрона от частоты питающего тока .....	252.

Чучалин И.П. Исследование процесса захвата электронов в бетатронное ускорение при различных формах импульса напряжения инжекции .....	256.
Голощапов Н.М. О некоторых факторах, влияющих на процесс захвата электронов в ускорение в бетатроне .....	268.
Голощапов Н.М. К проблеме обхода инжектора электронами в бетатроне в процессе инжекции .....	273.
Голощапов Н.М. О существовании замкнутого пучка электронов в постоянном потенциальном поле фокусирующих сил .....	275.
Родимов Б.Н. Учет взаимодействия электронов в задачах электронной оптики .....	280.
Голощапов Н.М. Исследование свойств инжекторов бетатрона .....	288.
Власов А.Г. Инжекторы для бетатронов 15–25 Мэв .....	297.
Власов А.Г. Вакуумные камеры и вакуумная система бетатронов на 15–25 Мэв .....	301.
Соколов А.С. Вывод ускоренных электронов 10 Мэв из бетатрона с помощью магнитного шунта .....	307.
Соколов А.С. Вывод электронного пучка из камеры бетатрона .....	314.
Кононов Б.А. Вывод электронов из бетатрона на 15 Мэв электростатическим способом .....	322.
Воробьев А.А., Димов Г.И. О применении бетатрона в качестве инжектора электронов в синхротронах на высокие энергии .....	329.
Солнцев Б.А. Проволочные коаксиальные резонаторы для синхротронов .....	333.
Солнцев Б.А. Использование электродов в качестве ускоряющего устройства синхротрона .....	338.
Воробьев Н.И. Импульсный модулятор с неоднородной искусственной линией .....	343.
Димов Г.И. Особенности индукционного ускорения в электромагните с прямолинейными участками .....	351.
Воробьев А.А. и Кривошеков Г.В. Ускорение заряженных частиц в кольцевом объемном резонаторе с магнитным способом управления траекторией .....	358.
Димов Г.И. и Кочегуров В.А. К проектированию электронных синхротронов на средние энергии с предварительным индукционным ускорением .....	360.
Матвеев А.Н. О нелинейной теории фазовых колебаний, индуцированных квантовыми флуктуациями излучения в электронных синхротронах .....	366.
Диденко А.Н. О влиянии излучения на радиально-фазовые колебания в электронных циклических ускорителях на большие энергии .....	372.
Диденко А.Н. К вопросу о нелинейной теории радиально-фазовых колебаний .....	379.
Москалев В.А. Дозиметр с наперстковой ионизационной камерой для сверхжесткого излучения бетатронов и синхротронов .....	384.
Москалев В.А. Пространственное распределение излучения 10 Мэв бетатрона .....	387.
Воробьев А.А., Завадовская Е.К. Применение в промышленности жестких рентгеновских лучей для просвечивания и выбор диапазона энергии этих лучей .....	393.
Горбунов В.И. Технические требования для бетатронов, применяемых в дефектоскопии стальных изделий .....	403.
Горбунов В.И. Прибор для автоматического счета электрических импульсов .....	407.
Горбунов В.И. Экспериментальное исследование влияния усиливающих экранов на чувствительность и контрастность рентгеновских пленок .....	411.
Горбунов В.И. Продолжительность экспозиции при просвечивании стали рентгеновскими лучами бетатрона на 25 Мэв .....	422.
Берзин А.К. Пороговые энергии ( $\gamma n$ )-реакции .....	431.
Берзин А.К. Пороги фотонейтронов 13 изотопов .....	433.
Тихонов Н.А. Выход ( $\gamma n$ )-реакций для легких изотопов элементов с $Z=6-68$ .....	437.
Тихонов Н.А. и Яковлев Б.М. Угловое распределение высокоэнергетической компоненты рассеянного излучения бетатрона на 25 Мэв .....	441.